

10/538359

JC20 Rec'd PCT/PTO 13 JUN 2005

DOCKET NO.: 273059US0XPCT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Dirk ROETTGER, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/EP03/11773

INTERNATIONAL FILING DATE: October 24, 2003

FOR: PROCESS FOR PREPARING METAL COMPLEXES OF GROUPS 6 TO 10 OF THE PERIODIC TABLE AND THE USE THEREOF AS CATALYSTS

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**  
**AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

Commissioner for Patents  
Alexandria, Virginia 22313

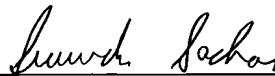
Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<b><u>COUNTRY</u></b>	<b><u>APPLICATION NO</u></b>	<b><u>DAY/MONTH/YEAR</u></b>
Germany	102 57 938.5	12 December 2002

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/EP03/11773. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,  
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Norman F. Oblon  
Attorney of Record  
Registration No. 24,618  
Surinder Sachar  
Registration No. 34,423

Customer Number

**22850**

(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 08/03)

## PCT COOPERATION TREATY

PCT

From the INTERNATIONAL BUREAU

**NOTIFICATION CONCERNING  
SUBMISSION OR TRANSMITTAL  
OF PRIORITY DOCUMENT**

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

To:

OXENO OLEFINCHEMIE GMBH  
Intellectual Property Management  
Patente-Marken  
Bau 1042 - PB 15  
45764 Marl  
Germany

Date of mailing (day/month/year) 03 December 2003 (03.12.03)	<b>IMPORTANT NOTIFICATION</b>
Applicant's or agent's file reference O.Z. 6138-WO	
International application No. PCT/EP03/11773	International filing date (day/month/year) 24 October 2003 (24.10.03)
International publication date (day/month/year) Not yet published	Priority date (day/month/year) 12 December 2002 (12.12.02)
Applicant OXENO OLEFINCHEMIE GMBH et al	

1. The applicant is hereby notified of the date of receipt (except where the letters "NR" appear in the right-hand column) by the International Bureau of the priority document(s) relating to the earlier application(s) indicated below. Unless otherwise indicated by an asterisk appearing next to a date of receipt, or by the letters "NR", in the right-hand column, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
2. This updates and replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents.
3. An asterisk(\*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b). In such a case, **the attention of the applicant is directed** to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
4. The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which was not received by the International Bureau or which the applicant did not request the receiving Office to prepare and transmit to the International Bureau, as provided by Rule 17.1(a) or (b), respectively. In such a case, **the attention of the applicant is directed** to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
12 Dec. 2002 (12.12.02)	102 57 938.5	DE	28 Nove 2003 (28.11.03)

The International Bureau of WIPO  
34, chemin des Colombettes  
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. (41-22) 338-7080

Authorized officer

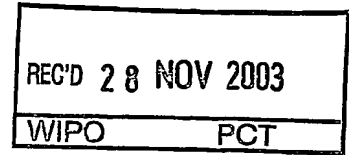
Norbert RIGHETTO

Telephone No. (41-22) 338 9889

#2

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 57 938.5

**Anmeldetag:** 12. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** OXENO Olefinchemie GmbH, Marl, Westf/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Herstellung von Metallkomplexen der Gruppen 6 bis 10 des Periodensystems und ihr Einsatz als Katalysatoren

**IPC:** C 07 F, B 01 J, C 08 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Mai 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hiebinger

## Verfahren zur Herstellung von Metallkomplexen der Gruppen 6 bis 10 des Periodensystems und ihr Einsatz als Katalysatoren

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Carbenliganden enthaltenden  
5 Metallkomplexen durch Umsetzung von Metallverbindungen mit Ligandprecursoren II und/oder III und den Einsatz der so erhaltenen Metallkomplexe als Katalysatoren.

Metallkomplexe, die als Zentralatom ein Metall der 6. bis 10. Gruppe des Periodensystems der  
Elemente enthalten und an dieses Metallatom gebundene Liganden aufweisen, werden  
10 zunehmend als Katalysatoren für chemische Umsetzungen eingesetzt. Ihre Bedeutung liegt insbesondere bei Reaktionen, die zum Aufbau von Kohlenstoff-Kohlenstoff, Kohlenstoff-Wasserstoff, Kohlenstoff-Sauerstoff und Kohlenstoff-Stickstoff Bindungen führen. Oftmals werden in technischen Prozessen Metall-Komplex-Katalysatoren eingesetzt. Beispiele für  
15 derartige Prozesse sind die Hydroformylierung von Olefinen, die Hydrierung, beispielsweise von Olefinen, Aldehyden oder Ketonen, Metathesereaktionen und die Telomerisation.

Die Liganden, die an das Metallatom koordinieren, haben dabei einen immensen Einfluss auf das katalytische Verhalten des Metallkomplexes. Zum einen üben sie eine stabilisierende Wirkung aus, weshalb sie bei katalytischen Umsetzungen oftmals auch im Überschuss  
20 zugesetzt werden. Andererseits sind über die Art der Liganden Aktivität und Selektivität des Katalysators in einem weiten Rahmen steuerbar.

Als Liganden werden hauptsächlich Stickstoffverbindungen, beispielsweise Amine, oder Phosphor(III)verbindungen, beispielsweise Phosphine oder Phosphite, eingesetzt. Für die  
25 Telomerisation von 1,3-Butadien mit Methanol, bei der hauptsächlich 2,7-Octadienylmethylether entsteht, wird beispielsweise in EP 0 461 222 Triphenylphosphin als Ligand und Palladium als Metall der Gruppen 6 - 10 beschrieben.

In letzter Zeit finden zudem zunehmend N-heterocyclische Carbene Verwendung als Liganden  
30 in Metallkomplexen. Durch Einsatz dieser Liganden lassen sich zum Teil erhebliche Vorteile gegenüber Katalysatoren erzielen, die nur Phosphorliganden enthalten. Diverse Einsatzmöglichkeiten und Beispiele für den Einsatz der N-heterocyclischen Carbene als

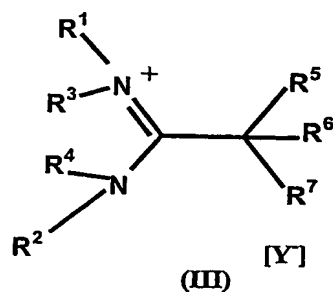
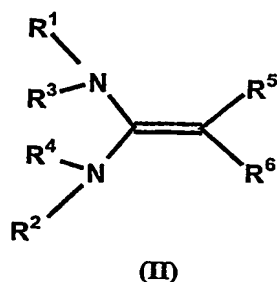
Liganden finden sich in Übersichtsarbeiten, die den aktuellen Stand der Technik dokumentieren (W.A. Herrmann, *Angewandte Chemie* 2002, 114, 1342-1363; W.A. Herrmann, T. Weskamp, V.P.W. Böhm, *Advances in Organometallic Chemistry*, 2001, Vol. 48, Seite 1-69; L. Jafarpour, S.P. Nolan, *Adv. Organomet. Chem.* 2001, 46, 181; D. Bourissou, O. Guerret, F.P. Gabbaï, G. Bertrand, *Chem. Rev.* 100, 39).

Der Einsatz eines N-Heterocyclischen Carbens als Ligand in einem Palladiumkomplex, der als Katalysator für die Telomerisation von 1,3-Butadien mit Methanol eingesetzt wird, wird ebenfalls beschrieben (R. Jackstell, M. Gómez Andreu, A. Frisch, K. Selvakumar, A. Zapf, H. Klein, A. Spannenberg, D. Röttger, O. Briel, R. Karch, M. Beller, *Angewandte Chemie* 2002, 114, 128). Auch hier lassen sich deutliche Verbesserungen gegenüber Katalysatorsystemen mit Phosphorliganden nachweisen.

Die Erfolge, die mit den N-heterocyclischen Carbenen als Liganden erzielt wurden, zeigen, dass man mit neuen Metallkomplexen als Katalysatoren individuelle katalytische Probleme lösen kann. Zugleich ist es notwendig, dass Metallkomplexe, die als Katalysatoren eingesetzt werden, einfach und kostengünstig erhältlich sind.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es daher, ein Verfahren zur Herstellung der Metallkomplexe bereitzustellen.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist daher ein Verfahren zur Herstellung von Komplexen von Metallen der 6. bis 10 Gruppe des Periodensystems der Elemente durch Umsetzen einer Verbindung eines Metalls der 6. bis 10 Gruppe des Periodensystems der Elemente mit Verbindungen der Formel II und/oder III



wobei  $R^1, R^2, R^3, R^4$  gleich oder verschieden, für lineare, verzweigte, substituierte oder unsubstituierte cyclische oder alicyclische Alkylgruppen mit 1 bis 24 Kohlenstoffatomen; substituierte oder unsubstituierte, mono- oder polycyclische Arylgruppen mit 6 bis 24 Kohlenstoffatomen; mono- oder polycyclische, substituierte oder unsubstituierte Heterocyclen mit 2 bis 24 Kohlenstoffatomen; ein Heteroatom aus der Gruppe N, O, S stehen und  $R^3, R^4$  eine kovalente Bindung aufweisen können

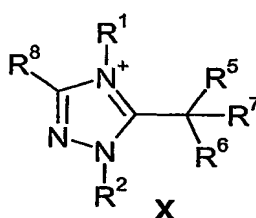
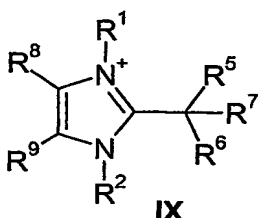
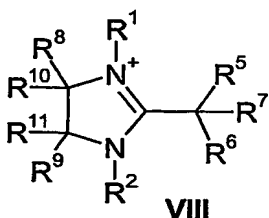
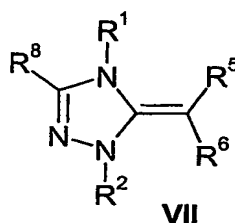
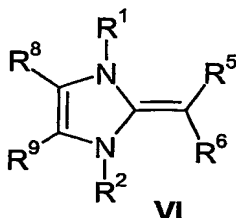
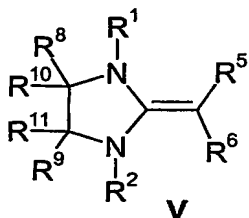
$R^5, R^6, R^7$  gleich oder verschieden für H, lineare, verzweigte, substituierte oder unsubstituierte cyclische oder alicyclische Alkylgruppen mit 1 bis 24 Kohlenstoffatomen; substituierte oder unsubstituierte, mono- oder polycyclische Arylgruppen mit 6 bis 24 Kohlenstoffatomen stehen können, mit der Maßgabe, dass einer der Substituenten  $R^7$  nicht für H steht.

Sind die verwendeten Ligandprecursoren ionische Verbindungen, so werden diese als Salz mit dem Gegenion  $[Y^-]$  eingesetzt.

$[Y^-]$  steht bevorzugt für Halogenid, Pseudohalogenid, Tetraphenylborat, Tetrafluoroborat, Tetrachloroborat, Hexafluorophosphat, Hexafluoroantimonat, Tetracarbonylcobaltat, Hexafluoroferrat, Tetrachloroferrat, Tetrachloroaluminat, Triflat, Bistrifluorsulphonylamid, Heptachlorodialuminat, Tetrachloropalladat, Sulfat, Hydrogensulfat, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Hydrogenphosphat, Dihydrogenphosphat, Hydroxid, Carbonat, Hydrogencarbonat, Salze von aromatischen oder aliphatischen Carbonsäuren, Salze von aromatischen oder aliphatischen Sulfonsäuren oder Phenolate.

$R^5, R^6, R^7$  können die genannten Bedeutungen besitzen oder z. B. substituierte oder unsubstituierte Aryl-, Heteroaryl-, Alkyl-, Alkenyl-, Allyl-Gruppe, -CN, -COOH, -COO-Alkyl-, -COO-Aryl-, -OCO-Alkyl-, -OCO-Aryl-, -OCOO-Alkyl-, -OCOO-Aryl-, -CHO, -CO-Alkyl-, -CO-Aryl-, -O-Alkyl-, -O-Aryl-, -NH<sub>2</sub>, -NH(Alkyl)-, -N(Alkyl)<sub>2</sub>-, -NH(Aryl)-, -N(Aryl)<sub>2</sub>-, -F, -Cl, -Br, -I, -OH, -CF<sub>3</sub>, -NO<sub>2</sub>, -Ferrocenyl, -SO<sub>3</sub>H, -PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, wobei die Alkylgruppen 1 bis 24, die Alkenyl- und Heteroarylgruppen 2 bis 24 und die Arylgruppen 5 bis 24 Kohlenstoffatome beinhalten, sein.

Bevorzugt werden im erfindungsgemäßen Verfahren Ligandprecursor eingesetzt, die einer der allgemeinen Formeln (V) bis (X) genügen;



- 5 wobei  $R^1, R^2, R^5, R^6$  und  $R^7$  die genannten Bedeutungen besitzen und  $R^8, R^9, R^{10}$  und  $R^{11}$  gleich oder verschieden sein können und für Wasserstoff stehen oder eine der Bedeutung von  $R^1$  besitzen.

Bevorzugt stehen  $R^8, R^9, R^{10}, R^{11}$  gleich oder verschieden für Wasserstoff, substituierte oder unsubstituierte Aryl-, Heteroaryl-, Alkyl-, Alkenyl-, Allyl-Gruppe, -CN, -COOH, -COO-

10 Alkyl-, -COO-Aryl-, -OCO-Alkyl-, -OCO-Aryl-, -OCOO-Alkyl-, -OCOO-Aryl-, -CHO, -CO-Alkyl-, -CO-Aryl-, -O-Alkyl-, -O-Aryl-, -NH<sub>2</sub>, -NH(Alkyl)-, -N(Aryl)<sub>2</sub>-, -NH(Aryl)-, -N(Alkyl)<sub>2</sub>-, -F, -Cl, -Br, -I, -OH, -CF<sub>3</sub>, -NO<sub>2</sub>, -Ferrocenyl, -SO<sub>3</sub>H, -PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, wobei die Alkylgruppen 1 bis 24, die Alkenyl- und Heteroarylgruppen 2 bis 24 und die Arylgruppen 5 bis 24 Kohlenstoffatome beinhalten und wobei die Reste  $R^8$  und  $R^9$  auch kovalent verknüpft sein

15 können.

Die Reste  $R^1, R^2, R^3, R^4, R^5, R^6, R^7, R^8, R^9, R^{10}, R^{11}$  können gleich oder verschieden sein und mindestens einen Substituenten aus der Gruppe -H, -CN, -COOH, -COO-Alkyl, -COO-Aryl, -OCO-Alkyl, -OCO-Aryl, -OCOO-Alkyl, -OCOO-Aryl, -CHO, -CO-Alkyl, -CO-Aryl, -Aryl,

20 -Heteroaryl, -Alkyl, -Alkenyl, -Allyl, -O-Alkyl, -O-Aryl, -NH<sub>2</sub>, -NH(Alkyl), -N(Alkyl)<sub>2</sub>, -NH(Aryl), -N(Alkyl)<sub>2</sub>, -F, -Cl, -Br, -I, -OH, -CF<sub>3</sub>, -NO<sub>2</sub>, -Ferrocenyl, -SO<sub>3</sub>H, -PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub> aufweisen, wobei die Alkylgruppen 1 bis 24, die Alkenyl- und Heteroarylgruppen 2 bis 24 und die Arylgruppen 5 bis 24 Kohlenstoffatome beinhalten.

Substituenten mit aciden Wasserstoffatomen können an Stelle der Protonen auch Metall- oder Ammoniumionen aufweisen.

5  $R^1$  und  $R^2$  können jeweils gleich oder verschieden sein und stehen insbesondere für Isopropyl, tert.-Butyl, Adamantyl, Cyclohexyl, Benzyl, Phenyl, substituierte Phenylreste (beispielsweise Mesityl, Toly, Xyl, 2,6-Diisopropylphenyl, p-Methoxyphenyl, 2,3-Dimethoxyphenyl, p-Chlorphenyl und mono- oder polycyclische Ringe, die mindestens ein Heteroatom enthalten).

10 Dies sind beispielsweise Reste, die sich von fünf- und sechsgliedrigen Heteroalkanen, Heteroalkenen und Heteroaromaten wie 1,4-Dioxan, Morpholin,  $\gamma$ -Pyran, Pyridin, Pyrimidin, Pyrazin, Pyrrol, Furan, Thiophen, Pyrazol, Imidazol, Thiazol und Oxazol ableiten.

$R^8$ ,  $R^9$ ,  $R^{10}$  und  $R^{11}$  können jeweils gleich oder verschieden sein und stehen insbesondere für Wasserstoff, Methyl, Ethyl, Phenyl.

15

In den allgemeinen Formeln (VI) und (IX) stehen die Reste  $R^8$  und  $R^9$  zudem gemeinsam für eine verbrückende Gruppe, in der die Substituenten über eine kovalente Bindung miteinander verknüpft sind, insbesondere für Gruppen wie  $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-$ , die zur Ausbildung eines annelierten Aromaten führen, der gegebenenfalls mit den genannten Substituenten  
20 einfach oder mehrfach substituiert sein kann.

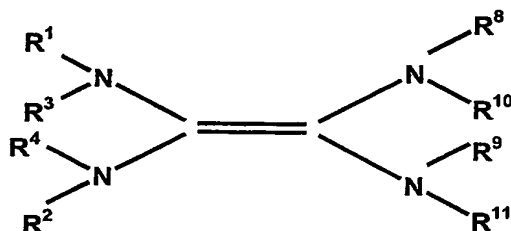
$R^5$ ,  $R^6$ ,  $R^7$  können jeweils gleich oder verschieden sein und stehen insbesondere für Wasserstoff, Aryl-, Heteroaryl- oder Alkenylsubstituenten. Bevorzugt steht einer der Reste  $R^5$  oder  $R^6$  für Wasserstoff, der andere für einen Aryl-, Heteroaryl- oder Alkenylsubstituenten.  
25 Bevorzugte Arylsubstituenten sind substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppen, bevorzugte Heteroarylsubstituenten sind substituierte oder unsubstituierte Pyridylgruppen.

Die Reste  $R^5$  und  $R^6$  stehen zudem gemeinsam für eine verbrückende Gruppe, in der die Substituenten über eine kovalente Bindung miteinander verknüpft sind. Bevorzugt bildet sich  
30 dabei ein fünf, sechs, siebengliedriger Ring aus.

Die Reste  $R^1$  und  $R^5$  können zudem gemeinsam für eine verbrückende Gruppe, in der die Substituenten über eine kovalente Bindung miteinander verknüpft sind, stehen. Bevorzugt bildet sich dabei, zusammen mit der  $N-C=C$ -Einheit der Verbindungen III bis VIII, ein fünf-, sechs-, sieben-, acht-, neun- oder zehngliedriger Ring aus. Wenn beispielsweise die Reste  $R^1$  und  $R^7$  gemeinsam für die Gruppe  $-CH_2-CH_2-CH_2-$  stehen, bildet sich ein sechsgliedriger Zyklus.

Im erfindungsgemäßen Verfahren werden keine Verbindungen der Formen II und/oder III eingesetzt, bei denen die Reste  $R^3$  und  $R^4$  sowie  $R^5$  und  $R^6$  gleichzeitig zwei Stickstoffatome enthalten und verbrückt sind.

Es sind somit alle Tetraaminoethylderivate der allgemeinen Formel

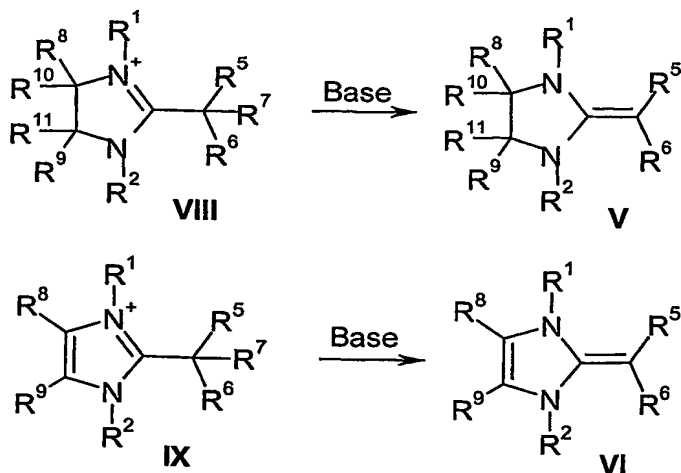


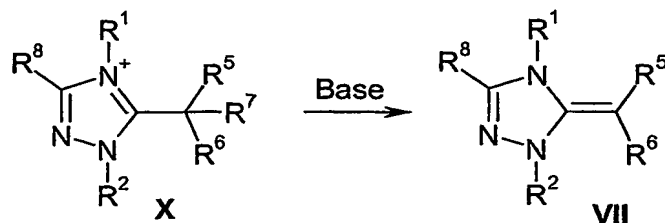
nicht Gegenstand des erfindungsgemäßen Verfahrens.

In der nachfolgenden Tabelle sind Beispiele für erfindungsgemäß eingesetzte Ligandprecursoren wiedergegeben.



Die Ligandprecursoren nach den allgemeinen Formeln (II) bis (X) können synthetisch einfach auf verschiedenen Wegen hergestellt werden. Die Verbindungen (V) bis (VII) können beispielsweise literaturbekannt durch Deprotonierung der Salze (VIII) bis (X) erhalten werden, in denen  $R^7$  für Wasserstoff steht (Liebigs Ann. Chem. 1993, 1149-1151; Chem. Ber. 1987, 120, 2053).

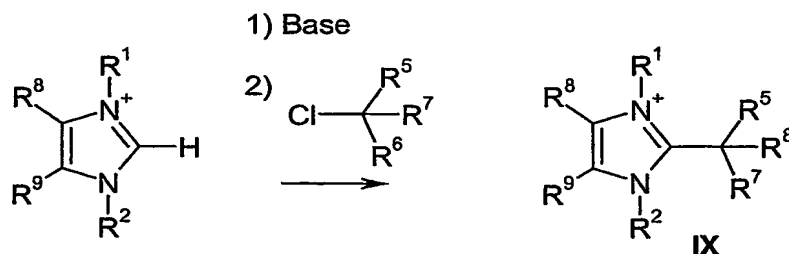




Für die Verbindungen (VIII) bis (X) sehen ebenfalls unterschiedliche Synthesewege offen, beispielhaft werden hier vier illustriert.

#### 5 Syntheseweg 1)

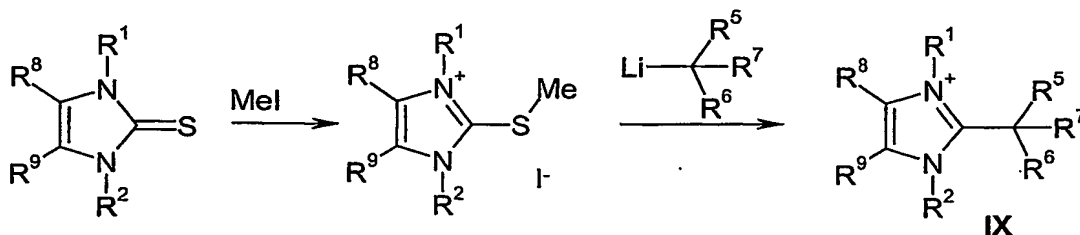
Aus Imidazoliumsalzen können durch Deprotonierung und anschließende Reaktion mit Alkylhalogeniden Verbindungen nach der allgemeinen Formel IX erhalten werden (vgl. Tetrahedron 1988, 44, 7413).



10

#### Syntheseweg 2)

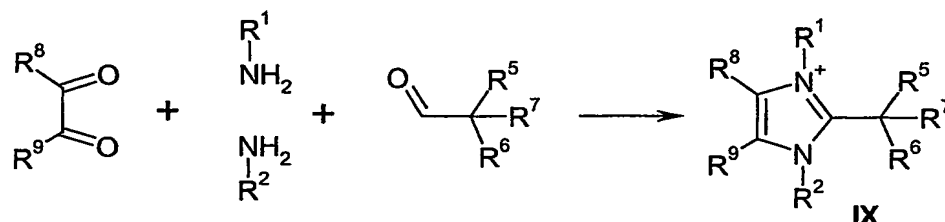
Thiolatgruppen in 2-Position von Imidazoliumsalzen können über nucleophile Substitutionsreaktionen ausgetauscht werden (Liebigs Ann. Chem. 1993, 1149-1151).



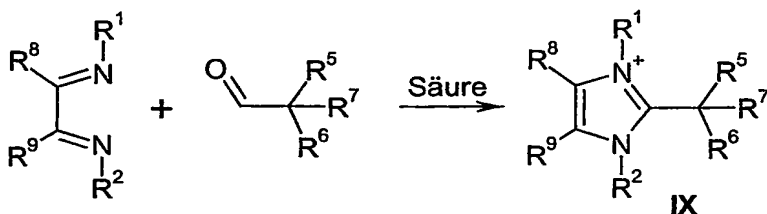
15

#### Syntheseweg 3)

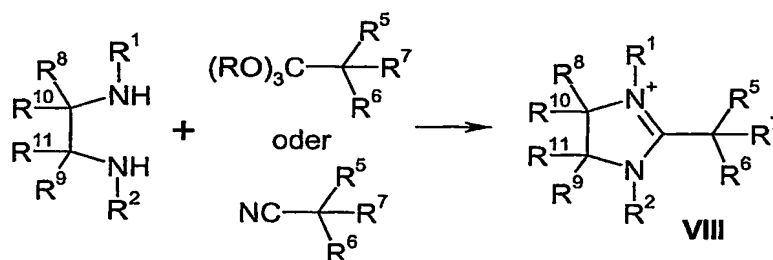
Imidazoliumsalze der allgemeinen Formel (IX) sind über Aufbaureaktionen aus  $\alpha$ -Dicarbonylverbindungen, primären Aminen und Aldehyd zugänglich (WO 91/14678).



Anstatt einer einstufigen Synthese kann man auch zuerst aus der  $\alpha$ -Dicarbonylverbindung und dem Amin ein 1,4-Diazabutadienen herstellen und dies mit Aldehyd umsetzen.

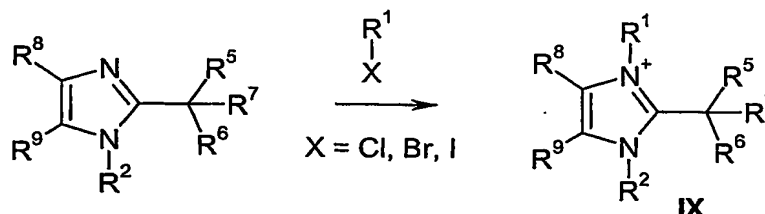


- 5 Durch Umsetzung von 1,2-Diaminen mit Orthoestern sind die Verbindungen des Typs (VIII) zugänglich. Als Alternative zu den Orthoestern können ggf. Nitrile eingesetzt werden (J. Med. Chem. 1977, 20, 531).



#### Syntheseweg 4)

Synthese durch Quarternierung des Stickstoffatoms in substituierten Imdiazolen, beispielsweise unter Einsatz von Alkylhalogeniden als Alkylierungsmittel.



- Über das erfindungsgemäße Verfahren werden N-heterocyclische Liganden in Metallkomplexe eingeführt. Dies kann unter Erweiterung der Ligandensphäre oder unter Verdrängung eines oder mehrerer in der Metallverbindung (I) bzw. (XI) bereits vorhandener Liganden erfolgen.
- 15

Auch kann es mit der Einführung des Carbenliganden zur Einführung von zusätzlichen neuen Liganden, zu einem Ligandenaustausch oder zur Veränderung der Koordinationsweise bereits vorhandener Liganden kommen. Dieses Verhalten ist nicht ungewöhnlich und wird auch bei der Herstellung von Metall-Carbenkomplexen über andere synthetische Zugänge beobachtet, vgl. EP 0 721 953 B1.

N-heterocyclische Carbenliganden werden nach literaturbekannten Verfahren hauptsächlich über drei Routen in Metallkomplexe eingeführt: a) durch Umsetzung von Metallverbindungen mit den freien N-heterocyclischen Carbenen, b) durch in situ Deprotonierung von Ligandvorstufen, wobei die freien Carbene entstehen, c) durch Spaltung von Dimeren der Carbene (W.A. Herrmann, T. Weskamp, V.P.W. Böhm, *Advances in Organometallic Chemistry*, 2001, Vol. 48, Seite 1-69). Die freien N-heterocyclischen Carbene sind oftmals nur begrenzt stabil oder können nur in Lösung gehandhabt werden.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird ein neuer Zugang zu den Metallkomplexen eröffnet, der einfach herstellbare und stabile Ligandprecursoren einsetzt. In der Literatur finden sich bislang keine experimentellen Beschreibungen dieser Reaktion. Für die Addition von Imidazoliumsalzen mit Wasserstoff- oder Halogensubstituenten an Metalle der 10. Gruppe sind Beispiele bekannt. Auch für die Bildung von Verbindungen nach der allgemeinen Formel IX mit  $R^5 = R^6 = R^7 = H$  aus Metallcarbenkomplexen liegen experimentelle Befunde vor (vgl. J. Am. Chem. Soc. 2001, 123, 8317). Die gleiche Literaturstelle führt zudem Rechnungen zur Addition von 1,2,3-Trimethylimidazoliumsalzen (Formel IX mit  $R^1 = R^2 = \text{Methyl}$ ,  $R^5 = R^6 = R^7 = R^8 = R^9 = H$ ) an Modell-Komplexe von Metallen der Gruppe 10 in der Oxidationsstufe 0 an, ohne diese aber mit experimentelle Arbeiten hinterlegen zu können.

WO 02/34722 offenbart an 1,2,3-Position substituierte Imidazoliumsalze als Ionische Flüssigkeiten und deren Einsatz als Lösungsmittel, besonders für Zweiphasenreaktionen. Der Einsatz als Lösungsmittel wird insbesondere bei Reaktionen bevorzugt, bei denen Metallkomplexe die Reaktion katalysieren. Eine Reaktion der Metallverbindungen mit den Imidazoliumsalzen wird nicht beschrieben oder erwähnt.

Als Metallverbindungen der 6. – 10- Gruppe des Periodensystems werden bevorzugt Ru, Rh, Ni, Pd oder Pt eingesetzt. Hier kommen insbesondere Salze oder Komplexverbindungen der

Metalle in Frage. Die Verbindungen können anionische, kationische oder neutrale Liganden enthalten. Beispiele für Liganden sind Halogenide, Phosphane, Phosphite, Phosphonite, Phosphinite, Amine, Nitrile, Isonitrile, Kohlenmonoxid, Stickstoffmonoxid, Alkoholate, Carboxylate, Alkyl-, Arylsubstituenten, Alkene, Alkine, über das  $\pi$ -System koordinierende Aromaten wie Benzol, Cyclopentadienyl, Indenyl, Carbenliganden (beispielsweise Fischer-Typ, Schrock-Typ oder heterocyclische Carbenliganden).

Bevorzugt werden Salze oder Komplexe, die einfach zugänglich sind und oftmals kommerziell erhältlich sind, beispielsweise Metallhalogenide, Metallacetate, Metallacetylacetonate, Metallcarbonyle.

Als Metallverbindung sind beispielsweise geeignet:

#### Palladiumverbindungen:

- 15 Palladium(II)acetat, Palladium(II)chlorid, Palladium(II)bromid, Lithiumtetrachloropalladat, Palladium(II)acetylacetonat, Palladium(0)-dibenzylidenaceton-Komplexe, Palladium(II)propionat, Bis(acetonitril)palladium(II)chlorid, Bis(triphenylphosphan)palladium(II)dichlorid, Bis(benzonitril)palladium(II)chlorid, Bis(tri-*o*-tolylphosphin)palladium(0), Allylpalladiumchlorid (dimer),
- 20 Bis(tricyclohexylphosphin)palladium(0).

#### Platinverbindungen:

- Dichloro(1,5-cyclopentadien)platin(II), Dichlorobis(benzonitril)platin(II), Dichlorobis(pyridin)platin(II), Dichlorodi(ethylene)platin(II) dimer, Platin(II)acetylacetonat, Platin(II)chlorid,
- 25 Platin(IV)chlorid, Tetrakis(triphenylphosphin)platin(0), Chloroplatinsäure, Kaliumhexachloroplatinat(IV), Natriumhexachloroplatinat(IV).

#### Rutheniumverbindungen:

- Dichloro(benzen)ruthenium(II) dimer, Dichloro(cymene)ruthenium(II) dimer,
- 30 Dichlorotris(triphenylphosphin)ruthenium(II), Dichloro(1,5-cyclooctadien)ruthenium(II), Rutheniumcarbonyle, Rutheniumchloride, Ruthenium(III)acetylacetonat.

## Nickelverbindungen:

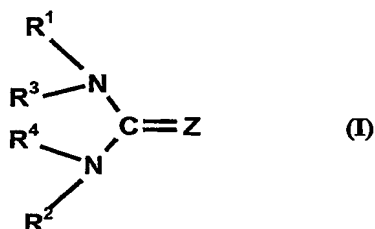
Bis(1,5-cyclopentadien)nickel(0), Bis(triphenylphosphin)nickel(II)chlorid,  
 Bis(triphenylphosphin)nickeldicarbonyl, Nickeltetracarbonyl, Nickel(II)acetat,  
 Nickel(II)acetylacetonat, Nickel(II)chlorid, Nickel(II)(2-ethylhexanoat), Nickel(II)sulfat,  
 5 Nickel(II)nitrat.

## Rhodiumverbindungen:

Rhodiumcarbonyle wie Tetrarhodiumdodekacarbonyl, Hexarhodiumhexadecacarbonyl;  
 Rhodiumdicarbonylacetylacetonat, Rhodiumnitrat, Rhodiumchlorid,  $\text{Rh}(\text{CO})_2(\text{acac})$  (acac =  
 10 Acetylacetonat), Rhodiumformiat, Rhodiumacetat, Rhodiumoctanoat, Rhodiumnonanoat,  
 $\mu, \mu'$ -Dichlororhodiumtetracarbonyl,  $[\text{Rh}(\text{OAc})(\text{COD})]_2$  (Ac = Acetylgruppe, COD = 1,5-  
 Cyclooctadien), Tris(triphenylphosphin)rhodiumchlorid.

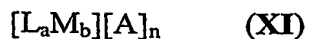
Im erfindungsgemäßen Verfahren werden bevorzugt Komplexe der allgemeinen Formel (I)

15



hergestellt, wobei [Z] für ein Metallkomplexfragment der allgemeinen Formel

20



steht, und

M: Metalle der Gruppen 6 bis 10 des Periodensystems der Elemente

L: ein oder mehrere, gleiche oder verschiedene ein oder mehrzählige geladene oder  
 25 ungeladene Liganden

A: einfach geladenes Anion oder das chemische Äquivalent eines mehrfach geladenen  
 Anions,

b: ganze Zahl von 1 bis 3

a: ganze Zahl von 0 bis 5 x b

n: ganze Zahl von 0 bis 6

bedeutet und  $R^1$ ,  $R^2$ ,  $R^3$ ,  $R^4$  die genannten Bedeutungen besitzen.

- 5 Ein oder mehrzählige Liganden, die im Metallkomplexfragment L neben dem erfindungsgemäß eingeführten Carbenligand vorhanden sein können, sind in der allgemeinen Formel (XI) mit L wiedergegeben.

10 L steht für Wasserstoff, das Wasserstoff-Ion, Halogene, Halogen-Ionen, Pseudohalogenide, Carboxylat-Ionen, Sulfonat-Ionen, Amidreste, Alkylgruppen, Alkylarylgruppen, Arylgruppen, Heteroarylgruppen, Alkenylgruppen, Alkoholatreste, Nitrile, Isonitrile, Mono- oder Diolefine, Alkine,  $\pi$ -Aromatenreste, Cyclopentadienyl, Indenyl, Phosphine, Phosphite, Phosphinite, Phosphonite, Phosphoraromaten, Acetylacetonat, Kohlenmonoxid, Stickstoffmonoxid oder Carbenliganden, wobei die Alkylgruppen 1 bis 24, die Alkenyl- und Heteroarylgruppen 2 bis 15 24 und die Arylgruppen 5 bis 24 Kohlenstoffatome beinhalten und jeweils substituiert oder unsubstituiert sein können.

Sind mehrere Liganden L vorhanden, so können sie gleich oder verschieden sein.

A steht in den der allgemeinen Formel (XI) für Halogenid, Pseudohalogenid, Tetraphenylborat, 20 Tetrafluoroborat, Tetrachloroborat, Hexafluorophosphat, Hexafluoroantimonat, Tetracarbonylcobaltat, Hexafluoroferrat, Tetrachloroferrat, Tetrachloroaluminat, Triflat, Bistrifluorsulphonylamid, Heptachlorodialuminat, Tetrachloropalladat, Sulfat, Hydrogensulfat, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Hydrogenphosphat, Dihydrogenphosphat, Hydroxid, Carbonat, Hydrogencarbonat, Salze von aromatischen oder aliphatischen Carbonsäuren, Salze von 25 aromatischen oder aliphatischen Sulfonsäuren und Phenolate.

Bevorzugt sind Metallkomplexfragmente nach der allgemeinen Formel (XI), in denen b gleich eins ist.

- 30 Für die Herstellung der Metallkomplexe (I) ist eine stöchiometrische Menge an Ligandenprecursor nach den allgemeinen Formeln (III) bis (X) notwendig. Oftmals werden jedoch bei Einsatz einer überstöchiometrischen Mengen an Ligandenprecursor bessere

Ausbeuten der Verbindungen (I) erhalten. Typischer Weise beträgt daher das molare Verhältnis von Ligandprecursor zu Metallverbindung 100 : 1 bis 1 : 1, bevorzugt 10 : 1 bis 1:1.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Metallkomplexen der Formel (I) wird  
5 bevorzugt in Gegenwart von Lösungsmittel durchgeführt. Geeignete Lösemittel sind unter anderem aliphatische, cycloaliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe wie zum Beispiel  $C_3$ - $C_{20}$ -Alkane, Mischungen niederer Alkane ( $C_3$ - $C_{20}$ ), Cyclohexan, Cyclooctan, Ethylcyclohexan, Alkene und Polyene, Vinylcyclohexen, 1,3,7-Octatrien, die  $C_4$ -Kohlenwasserstoffe aus Crack- $C_4$ -Schnitten, Benzol, Toluol und Xylol; polare Lösemittel wie  
10 zum Beispiel primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole, Di- und Polyole (Ethylenglycol, Diethylenglycol, Triethylenglycol, Tetraethylenglycol, Polyethylenglycol, Glycerin), primäre, sekundäre und tertiäre Amine, Ammoniak, Amide wie zum Beispiel Acetamid, Dimethylacetamid und Dimethylformamid, Nitrile wie zum Beispiel Acetonitril und Benzonitril, Ketone wie zum Beispiel Aceton, Methylisobutylketon und Diethylketon;  
15 Carbonsäureester wie zum Beispiel Essigsäureethylester, Ether wie beispielsweise Dipropylether, MTBE, Diethylether, Dimethylether, Methyloctylether, 3-Methoxyoctan, 1-Methoxy-2,7-octadien, 3-Methoxy-1,7-octadien, Dioxan, Tetrahydrofuran, Anisol, Alkyl- und Arylether von Ethylenglycol, Diethylenglycol, Triethylenglycol, Tetraethylenglycol und Polyethylenglycol und andere polare Lösemittel wie zum Beispiel Sulfolan, Dimethylsulfoxid,  
20 Ethylencarbonat, Propylencarbonat und Wasser. Auch Ionische Flüssigkeiten, beispielsweise Imidazolium oder Pyridiniumsalze, können als Lösemittel eingesetzt werden.

Die Lösemittel kommen allein oder als Mischungen verschiedener Lösemittel zum Einsatz.

25 Die Metallkomplexe (I) werden bevorzugt als Katalysatoren eingesetzt. Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, die Metallkomplexe (I) in situ als Katalysator oder Katalysatorvorstufe zu generieren. In diesem Fall werden als Lösungsmittel bevorzugt unter den Reaktionsbedingungen flüssig vorliegende Reaktanden genutzt, die in der Katalyse umgesetzt werden. Dabei kann es sich beispielsweise um Olefine, Halogenide oder  
30 Alkohole handeln. Diese können wiederum in Mischungen mit den schon genannten geeigneten Lösungsmitteln eingesetzt werden.

Die Temperatur, bei der die Metallkomplexe (I) hergestellt werden, beträgt  $-135^{\circ}\text{C}$  bis  $200^{\circ}\text{C}$ , bevorzugt  $-78^{\circ}\text{C}$  bis  $160^{\circ}\text{C}$ . Der Druck, bei dem die Metallkomplexe (I) hergestellt werden, beträgt 1 bis 125 bar.

Die erfindungsgemäße Herstellung der Metallkomplexe (I) kann in Gegenwart von  
5 Verbindungen erfolgen, die als Liganden an Metallzentren koordinieren können. Hierzu zählen zur Koordination befähigte Lösungsmittel wie Tetrahydrofuran oder Acetonitril und Verbindungen, die bekannt als Liganden für Metalle geeignet sind. Hierzu gehören beispielsweise Phosphor(III)-verbindungen wie Phosphine, Phosphite, Phosphinite, Phosphinite, Phosphabenzene, Nitrile, Isonitrile, Alkene, Alkine, Diene, Halogenide, Amine.

10 Zur Herstellung der Metallkomplexe (I) nach dem erfindungsgemäßen Verfahren können der Reaktion Oxidations- oder Reduktionsmittel zugesetzt werden. Durch die Zugabe von Oxidations- oder Reduktionsmitteln kann eine, gegebenenfalls zusätzliche, Änderung der Oxidationsstufe des Metall forciert werden. Beispiele für Oxidations- und Reduktionsmittel  
15 sind Hydrazin, Wasserstoffperoxid, Ameisensäure, Wasserstoff, Sauerstoff, Luft, Stanane, Silane, Alkohole, Ionische Hydride oder Amine.

Die Herstellung der Metallkomplexe (I) erfolgt, abhängig vom jeweiligen System, unter sauren, neutralen oder basischen Bedingungen. Diese Bedingungen können durch Zugabe von Säuren,  
20 Basen oder Puffern entsprechend eingestellt werden. Als Säuren kommen beispielsweise Mineralsäuren (Schwefelsäure, Salzsäure, Phosphorsäure), Carbonsäuren (Ameisensäure, Essigsäure, Benzoesäure), Sulfonsäuren oder Phenole zum Einsatz. Typische Basen sind beispielsweise Alkali- und Erdalkalimetallhydroxide (Natriumhydroxid, Calciumhydroxid), Alkali- und Erdalkalimetallcarbonate (Natriumcarbonat, Cäsiumcarbonat), Amine, Alkoholate  
25 und Phenolate (Natriummethylat, Kalium-t-butylat, Natriumphenolat), Alkali- und Erdalkalimetallhydride (Natriumhydrid) und Alkyl- oder Aryl-Metallverbindungen wie Butyllithium, Butylmagnesiumchlorid, Phenyllithium.

Die erfindungsgemäß hergestellten Metallkomplexe können in Substanz isoliert und als  
30 Katalysator verwendet oder in situ erzeugt und direkt als Katalysator oder Präkatalysator eingesetzt werden. Als Präkatalysator wird allgemein und im Rahmen dieser Erfindung eine Substanz, hier ein Metallkomplex, verstanden, aus dem sich unter Katalysebedingungen die

aktiven Katalysatorspezies bilden. Dies kann beispielsweise unter Abspaltung eines oder mehrerer der vorhandenen Liganden (beispielsweise L in (XI)) und Koordination des Substrats erfolgen.

Beispiele für Katalysereaktionen, in denen die erfindungsgemäß hergestellten Metallkomplexe (I) eingesetzt werden können, sind Hydroformylierung, Hydrierung, Arylaminierungen, Hydrosilylierung, Kohlenstoff-Kohlenstoff-Kupplungsreaktionen (zum Beispiel Heck-Reaktion, Suzuki-Kupplung, Kumada-Kupplung, Stille-Kupplung, Miyaura-Kupplung, die Sonogashira-Kupplung), Olefinmetathese, Olefindimerisierung, Olefinoligomerisierung, Cyclopropanierung, Reduktion von Halogenarenen und die Polymerisation (Homo- und Copolymerisation). Es ist möglich, das erfindungsgemäße Verfahren so durchzuführen, dass die Bildung der Metallkomplexe (I) in situ als Katalysator oder Präkatalysator in den o. g. Reaktionen erfolgt.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind daher auch die o. g. Verfahren, die in Gegenwart der Metallkomplexe (I), der erfindungsgemäß hergestellten Metallkomplexe (I) bzw. der Verbindungen II bis X als Ligandprecursoren durchgeführt werden.

Bevorzugte Katalysereaktionen, in denen die erfindungsgemäß, in situ oder in Substanz, hergestellten Metallkomplexe (I) als Katalysator oder Präkatalysator eingesetzt werden, sind katalytische Umsetzungen von Olefinen oder Dienen zu Olefinen oder Dienen mit veränderter Kohlenstoffzahl, insbesondere die Methathese von Olefinen und die Telomerisation von nicht-cyclischen, konjugierten Dienen wie Butadien, mit Alkoholen, Wasser oder Aminen.

Das molare Verhältnis einer oder mehrerer der Verbindungen II bis X zum Metall der 6. – 10. Gruppe des Periodensystems beträgt 1 : 100, insbesondere 1 : 10.

Die Temperatur, bei der Katalysereaktionen mit den nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Komplexen durchgeführt werden, hier insbesondere die Telomerisation von Butadien mit Methanol liegt im Bereich zwischen  $-78^{\circ}\text{C}$  und  $200^{\circ}\text{C}$ , bevorzugt zwischen  $20^{\circ}\text{C}$  und  $160^{\circ}\text{C}$ . Bevorzugt werden 0.00001 Mol% bis 5 Mol% an Metallverbindung (I) bezogen auf das umzusetzende Substrat eingesetzt, besonders bevorzugt Mengen zwischen 0.0001 Mol% bis 1 Mol%.

Je nach Erfordernis können der Katalysereaktion Säuren oder Basen zugesetzt werden. Zudem können neben dem Metallkomplex (I) weitere Liganden oder Ligandenprecursoren anwesend sein. Bevorzugt werden als zusätzliche Liganden Phosphor(III)verbindungen wie Phosphine, Phosphite, Phosphinite, Phosphonite und Verbindungen nach den allgemeinen Formeln (II) bis (X) eingesetzt. Das molare Verhältnis von überschüssigem Ligand zum Metallkomplex (I) beträgt dabei 500 : 1 bis 0 : 1, bevorzugt 100 : 1 bis 0 : 1, besonders bevorzugt 50 : 1 bis 0 : 1 je Ligand.

Die Katalysereaktionen unter Einsatz der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Metallkomplexe können als kontinuierlich oder als diskontinuierliche arbeitende Verfahren durchgeführt werden. Verfahren zur Durchführung katalytischer Reaktionen sind in der Literatur beschrieben und dem Fachmann hinreichend bekannt.

Optional kann das erfindungsgemäße Verfahren während der durch den Komplex (I) zu katalysierenden Reaktion durchgeführt werden.

15

Es ist daher möglich, dass die Metallkomplexe (I) in situ aus den Verbindungen II bis X und einem der genannten Metalle als Katalysatoren in Hydroformylierungen, Hydrierungen, Arylaminierungen, Hydrosilylierungen, Heck-Reaktionen, Suzuki-Kupplungen, Kumada-Kupplungen, Stille-Kupplungen, Miyaura-Kupplungen, Sonogashira-Kupplungen, Olefinmetathesen, Olefindimerisierung, Olefinoligomerisierungen, Cyclopropanierungen, Reduktionen von Halogenarenen, Polymerisationen oder Telomerisationsreaktionen hergestellt werden bzw. als Katalysator in diesen Reaktionen verwendet werden können.

In Anlehnung an R. Jackstell, M. Gómez Andreu, A. Frisch, K. Selvakumar, A. Zapf, H. Klein, A. Spannenberg, D. Röttger, O. Briel, R. Karch, M. Beller, Angewandte Chemie 2002, 114, 128 wird im Rahmen dieser Erfindung unter Telomerisation allgemein die Umsetzung von Olefinen mit konjugierten Doppelbindungen (konjugierte Diene) in Gegenwart eines Nucleophils (Telogens) verstanden. Als Hauptprodukte werden dabei Verbindungen erhalten, die sich aus zwei Äquivalenten des Diens und einem Äquivalent des Nucleophils aufbauen. Die Telomerisation von Dienen ist in der Fachliteratur ausführlich beschrieben (WO 91/09822, US 4,642,392, US 4,831,183, DE 2 137 291, US 5 030 792, US 4 334 117, US 4 356 333, US 5 057 631, EP 0 296 550, WO 98/08 794, DE 195 23 335).



Weiterhin entstehen 4-Vinyl-1-cyclohexen (Diels-Alder-Produkt des Butadiens) in variablen Ausbeuten sowie - in der Regel in nur geringen Mengen -- weitere Nebenprodukte. Dieses Spektrum von Produkten findet man generell auch bei Einsatz anderer Nucleophile mit aktiven H-Atomen, wobei an Stelle der Methoxygruppe die entsprechenden Reste des jeweiligen  
5 Nucleophils treten.

Die signifikante Bildung der genannten Nebenprodukte ist ein weiterer Grund, der eine Umsetzung eines wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Verfahren außerordentlich schwierig macht. So konnten, obwohl die Telomerisation von Butadien mit Methanol bereits  
10 von mehreren Firmen intensiv bearbeitet und patentiert wurde, die oben genannten Probleme nicht befriedigend gelöst werden.

Durch Einsatz der erfindungsgemäß hergestellten Komplexe als Katalysatoren oder Katalysatorprecursoren können bei der Telomerisation von nicht cyclischen Olefinen mit  
15 mindestens zwei konjugierten Doppelbindungen (XII) mit einem Nucleophil (XIII) deutliche Verbesserungen der Selektivitäten erzielt werden.

In der Telomerisation gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren können prinzipiell alle nicht cyclischen Olefine mit mindestens zwei konjugierten Doppelbindungen eingesetzt werden. Im  
20 Rahmen dieser Erfindung ist der Einsatz von 1,3-Butadien und Isopren (2-Methyl-1,3-butadien) bevorzugt. Dabei können sowohl die reinen Diene als auch Mischungen, die diese Diene enthalten, eingesetzt werden.

Als 1,3-Butadien/Isopren enthaltende Mischungen kommen vorzugsweise Mischungen von  
25 1,3-Butadien oder Isopren mit anderen C<sub>4</sub>-Kohlenwasserstoffen und/oder C<sub>5</sub>-Kohlenwasserstoffen zum Einsatz. Solche Mischungen fallen beispielsweise bei Spalt(Crack)-Prozessen zur Produktion von Ethen an, in denen Raffineriegase, Naphtha, Gasöl, LPG (liquified petroleum gas), NGL (natural gas liquid) usw. umgesetzt werden. Die bei diesen Prozessen als Nebenprodukt anfallenden C<sub>4</sub>-Schnitte enthalten je nach Crack-Verfahren  
30 unterschiedliche Mengen an 1,3-Butadien. Typische 1,3-Butadienkonzentrationen im C<sub>4</sub>-Schnitt, wie sie aus einem Naphtha-Steamcracker erhalten werden, liegen bei 20 - 70 % 1,3-Butadien.

Die C<sub>4</sub>-Komponenten n-Butan, i-Butan, 1-Buten, cis-2-Buten, trans-2-Buten und i-Buten, die ebenfalls in diesen Schnitten enthalten sind, stören die Umsetzung im Telomerisationsschritt nicht oder nur unwesentlich.

- 5 Alkine, insbesondere Vinylacetylen, können hingegen als Moderatoren in der Telomerisationsreaktion wirken. Es ist daher vorteilhaft, die C<sub>4</sub>-Alkine und ggf. auch Kummulene wie das 1,2-Butadien vorher zu entfernen (z. B. gemäß DE 195 23 335). Dies kann, falls möglich, über physikalische Verfahren wie Destillation oder Extraktion erfolgen. Auf chemischem Weg können die Alkine über Selektivhydrierungen zu Alkenen oder Alkanen und die kumulierten Diene zu Monoenen reduziert werden. Verfahren für derartige Hydrierungen sind Stand der Technik und zum Beispiel in WO 98/12160, EP-A-0 273 900, DE-A-37 44 086 oder US 4 704 492 beschrieben.

Als Nucleophile (XIII) werden bevorzugt eingesetzt

- 15 Wasser,  
Alkohole und Phenole wie zum Beispiel Methanol, Ethanol, n-Propanol, Isopropanol, Allylalkohol, Butanol, Octanol, 2-Ethylhexanol, Isononanol, Benzylalkohol, Cyclohexanol, Cyclopentanol, 2-Methoxyethanol, Phenol oder 2,7-Octadien-1-ol  
Dialkohole wie zum Beispiel Ethylenglycol, 1,2-Propandiol, 1,3-Propandiol, 1,4-Butandiol,  
20 1,2-Butandiol, 2,3-Butandiol und 1,3-Butandiol  
Polyole wie zum Beispiel Glycerin, Glucose, Saccharose,  
Hydroxyverbindungen wie zum Beispiel  $\alpha$ -Hydroxyessigsäureester  
Carbonsäuren wie zum Beispiel Essigsäure, Propansäure, Butansäure, Isobutansäure, Benzoesäure, 1,2-Benzoldicarbonsäure, 1,3-Benzoldicarbonsäure, 1,4-Benzoldicarbonsäure,  
25 1,2,4-Benzoltricarbonsäure, Ammoniak, primäre Amine wie zum Beispiel Methylamin, Ethylamin, Propylamin, Butylamin, Octylamin, 2,7-Octadienylamin, Dodecylamin, Anilin, Ethylendiamin oder Hexamethyldiamin, sekundäre Amine wie Dimethylamin, Diethylamin, N-Methylanilin, Bis(2,7-Octadienyl)amin, Dicyclohexylamin, Methylcyclohexylamin, Pyrrolidin, Piperidin, Morphin, Piperazin oder Hexamethylenimin.

30

Telogene, die selbst über eine Telomerisationsreaktion erhalten werden können, können direkt eingesetzt oder aber in situ gebildet werden. So kann beispielsweise 2,7-Octadien-1-ol aus

Wasser und Butadien in Anwesenheit des Telomerisationskatalysators in situ gebildet werden, 2,7-Octadienylamin aus Ammoniak und 1,3-Butadien usw.

Besonders bevorzugt eingesetzte Nucleophile (XIII) sind Wasser, Methanol, Ethanol, n-Butanol, Allylalkohol, 2-Methoxyethanol, Phenol, Ethylenglycol, 1,3-Propandiol, Glycerin, Glucose, Saccharose, Essigsäure, Butansäure, 1,2-Benzoldicarbonsäure, Ammoniak, Dimethylamin und Diethylamin.

Die Telomerisation wird bevorzugt in Anwesenheit eines Lösungsmittels durchgeführt.

Als Lösemittel findet im allgemeinen das eingesetzte Nucleophil Verwendung, wenn es bei Reaktionsbedingungen als Flüssigkeit vorliegt. Es können jedoch auch andere Lösemittel eingesetzt werden. Die eingesetzten Lösemittel sollten dabei weitgehend inert sein. Bevorzugt wird der Zusatz von Lösemitteln bei Einsatz von Nucleophilen, die unter Reaktionsbedingungen als Feststoffe vorliegen oder bei Produkten, die unter den Reaktionsbedingungen als Feststoffe anfallen würden. Geeignete Lösemittel sind unter anderem aliphatische, cycloaliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe wie zum Beispiel C<sub>3</sub>-C<sub>20</sub>-Alkane, Mischungen niederer Alkane (C<sub>3</sub>-C<sub>20</sub>), Cyclohexan, Cyclooctan, Ethylcyclohexan, Alkene und Polyene, Vinylcyclohexen, 1,3,7-Octatrien, die C<sub>4</sub>-Kohlenwasserstoffe aus Crack-C<sub>4</sub>-Schnitten, Benzol, Toluol und Xylol; polare Lösemittel wie zum Beispiel tertiäre und sekundäre Alkohole, Amide wie zum Beispiel Acetamid, Dimethylacetamid und Dimethylformamid, Nitrile wie zum Beispiel Acetonitril und Benzonitril, Ketone wie zum Beispiel Aceton, Methylisobutylketon und Diethylketon; Carbonssäureester wie zum Beispiel Essigsäureethylester, Ether wie beispielsweise Dipropylether, MTBE, Diethylether, Dimethylether, Methyloctylether, 3-Methoxyoctan, Dioxan, Tetrahydrofuran, Anisol, Alkyl- und Arylether von Ethylenglycol, Diethylenglycol und Polyethylenglycol und andere polare Lösemittel wie zum Beispiel Sulfolan, Dimethylsulfoxid, Ethylencarbonat, Propylencarbonat und Wasser. Auch Ionische Flüssigkeiten, beispielsweise Imidazolium- oder Pyridiniumsalze, können als Lösemittel eingesetzt werden.

Die Lösemittel kommen allein oder als Mischungen verschiedener Lösemittel bzw. Nucleophile zum Einsatz.

Die Temperatur, bei der die Telomerisationsreaktion ausgeführt wird, liegt bevorzugt zwischen 10 und 180 °C, insbesondere zwischen 30 und 120 °C, besonders bevorzugt zwischen 40 und 100 °C. Der Reaktionsdruck beträgt 1 bis 125 bar, bevorzugt 1 bis 64 bar, besonders bevorzugt 1 bis 26 bar.

5

In der Telomerisation bevorzugt eingesetzte Metallverbindungen (II) sind Salze oder Komplexverbindungen des Palladiums, beispielsweise Palladium(II)acetat, Palladium(II)chlorid, Palladium(II)bromid, Lithiumtetrachloropalladat, Palladium(II)acetylacetonat, Palladium(0)-dibenzylidenaceton-Komplexe, Palladium(II)propionat, Palladium(II)chloridbisacetonitril, Palladium(II)-bistriphenylphosphandichlorid, Palladium(II)chloridbisbenzonitril, Bis(tri-o-tolylphosphin)palladium(0).

Die Konzentration des Katalysators in der Telomerisationsreaktion, formal angegeben in ppm (Masse) an Katalysatormetall bezogen auf die Gesamtmasse, beträgt 0.01 ppm bis 1000 ppm, bevorzugt 0.5 bis 100 ppm, besonders bevorzugt 1 bis 50 ppm.

Wird der Katalysator für die Telomerisation in situ aus einer Metallverbindung und einem Ligandprecursor der allgemeinen Formeln (II) bis (X) dargestellt, wird der Ligandprecursor bevorzugt in einem Verhältnis [Mol/Mol] von Ligandprecursor zu Metall von 100 : 1 bis 1 : 1, besonders bevorzugt 10 : 1 bis 1 : 1 eingesetzt.

Zusätzlicher Ligandprecursor kann zu jedem Zeitpunkt der Reaktion in den Prozess eingebracht werden. Weitere Liganden, beispielsweise Phosphorliganden wie Triphenylphosphin, können ebenfalls in der Reaktionsmischung vorliegen.

25

Aufgrund der Katalysatoraktivitäten und -stabilitäten ist es bei der Telomerisation möglich, extrem kleine Mengen an Katalysator zu verwenden. Neben einer Verfahrensführung, bei der der Katalysator wiederverwendet wird, wird so auch die Option eröffnet, den Katalysator nicht zu recyceln. Beide Varianten sind in der Patentliteratur bereits beschrieben (WO 90/13531, US 5254782, US 4642392).

30

Oftmals ist es vorteilhaft, die Telomerisationsreaktion in Gegenwart von Basen durchzuführen. Bevorzugt werden basische Komponenten mit einem  $pK_b$ -Wert kleiner 7, insbesondere Verbindungen ausgewählt aus der Gruppe Amine, Alkalimetallsalze, Erdalkalimetallsalze, Alkoholate und Phenolate eingesetzt.

5

Als basische Komponente sind beispielsweise geeignet Amine wie Trialkylamine, die alicyclisch oder/und offenkettig sein können, Amide, Alkali- oder/und Erdalkalisalze aliphatischer oder/und aromatischer Carbonsäuren, wie Acetate, Propionate, Benzoate bzw. entsprechende Carbonate, Hydrogencarbonate, Alkoholate von Alkali- und/oder Erdalkalielelementen, Phosphate, Hydrogenphosphate oder/und Hydroxide bevorzugt von Lithium, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Cäsium, Ammonium- und Phosphoniumverbindungen. Bevorzugt sind als Zusatz Hydroxide, Alkoholate und Phenolate der Alkali- und Erdalkalielemente.

- 15 Im Allgemeinen wird die basische Komponente zwischen 0.01 mol% und 10 mol% (bezogen auf das Olefin), bevorzugt zwischen 0.1 mol% und 5 mol% und ganz besonders bevorzugt zwischen 0.2 mol% und 1 mol% in der Telomerisationsreaktion eingesetzt. Das Verhältnis [Mol/Mol] zwischen eingesetztem Dien und Nucleophil beträgt 1:100 bis 100:1, bevorzugt 1:50 bis 10:1, besonders bevorzugt 1:10 bis 2:1.

20

- Das Verfahren zur Telomerisation unter Einsatz der erfindungsgemäß hergestellten Komplexe als Katalysatoren oder Katalysatorprecursoren kann kontinuierlich oder diskontinuierlich betrieben werden und ist nicht auf den Einsatz bestimmter Reaktortypen begrenzt. Beispiele für Reaktoren, in denen die Reaktion durchgeführt werden kann, sind Rührkesselreaktor, Rührkesselkaskade, Strömungsrohr und Schlaufenreaktor. Auch Kombinationen verschiedener Reaktoren sind möglich, beispielsweise ein Rührkesselreaktor mit nachgeschaltetem Strömungsrohr.

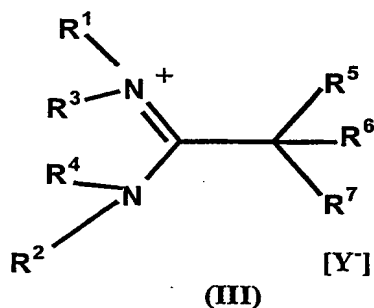
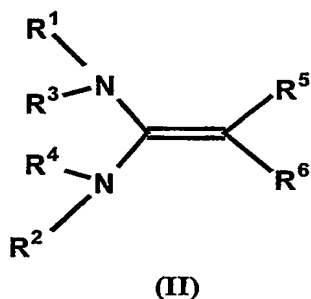
- Als Katalysatoren für Metathesereaktionen finden oftmals Komplexe des Osmiums und insbesondere des Rutheniums Anwendung. Aus prinzipiell bekannten Komplexen mit Phosphinliganden konnten in letzter Zeit durch Einführung von heterocyclischen Carbenliganden neue Katalysatoren mit verbesserten Eigenschaften erhalten werden. Neben

dem Einsatz von Metallkomplexen definierter Struktur werden inzwischen auch Methoden zur in situ Darstellung von metatheseaktiven Katalysatoren beschrieben (WO 0058322, DE 19815275, EP 1022282, WO 0071554, WO 0220535).

- 5 Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren können metatheseaktive Metallkomplexe durch Umsetzung von Metallverbindungen mit Ligandprecursoren nach den allgemeinen Formeln (II) bis (X) erhalten werden. Die Katalysatoren sind für ROMP (ring-opening metathesis polymerisation), RCM (ring-closing metathesis) und ADMET (acyclic diene metathesis) geeignet. Als Metallverbindungen werden dabei bevorzugt Verbindungen des Rutheniums eingesetzt.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Herstellung von Komplexen von Metallen der 6. bis 10. Gruppe des Periodensystems der Elemente durch Umsetzen einer Verbindung eines Metalls der 6. bis 10. Gruppe des Periodensystems der Elemente mit Verbindungen der Formel II und/oder III

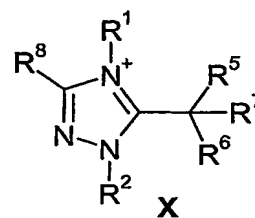
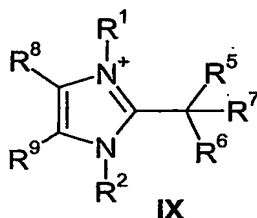
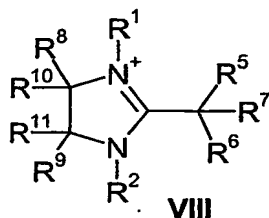
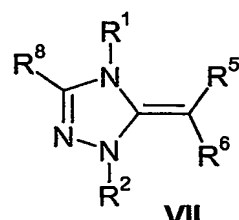
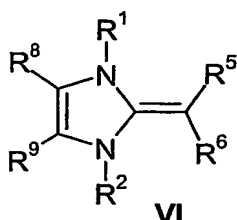
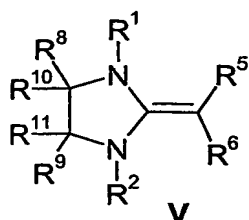


wobei  $R^1, R^2, R^3, R^4$  gleich oder verschieden, für lineare, verzweigte, substituierte oder unsubstituierte cyclische oder alicyclische Alkylgruppen mit 1 bis 24 Kohlenstoffatomen; substituierte oder unsubstituierte, mono- oder polycyclische Arylgruppen mit 6 bis 24 Kohlenstoffatomen; mono- oder polycyclische, substituierte oder unsubstituierte Heterocyclen mit 2 bis 24 Kohlenstoffatomen; ein Heteroatom aus der Gruppe N, O, S stehen und  $R^3, R^4$  eine kovalente Bindung aufweisen können

$R^5, R^6, R^7$  gleich oder verschieden für H, lineare, verzweigte, substituierte oder unsubstituierte cyclische oder alicyclische Alkylgruppen mit 1 bis 24 Kohlenstoffatomen; substituierte oder unsubstituierte, mono- oder polycyclische Arylgruppen mit 6 bis 24 Kohlenstoffatomen stehen können, mit der Maßgabe, dass der Substituent  $R^7$  nicht für H steht.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,

dass als Verbindungen der Formeln II oder III Verbindungen der allgemeinen Formeln V bis X



eingesetzt werden, wobei

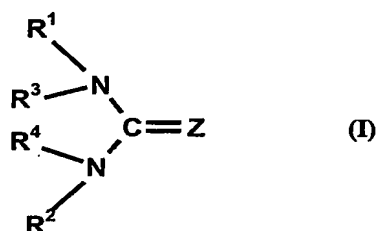
$R^1, R^2, R^5, R^6, R^7$  die genannten Bedeutungen und

$R^8, R^9, R^{10}, R^{11}$  gleich oder verschieden für H stehen oder eine der Bedeutungen von  $R^1$  besitzen.

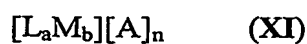
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

das Komplexe der allgemeinen Formel I



hergestellt werden, wobei [Z] für ein Metallkomplexfragment der allgemeinen Formel



steht, und

M: Metalle der Gruppen 6 bis 10 des Periodensystems der Elemente

L: ein oder mehrere, gleiche oder verschiedene ein oder mehrzählige geladene oder ungeladene Liganden

A: einfach geladenes Anion oder das chemische Äquivalent eines mehrfach geladenen Anions,

5 b: ganze Zahl von 1 bis 3

a: ganze Zahl von 0 bis  $5 \times b$

n: ganze Zahl von 0 bis 6

bedeutet und  $R^1$ ,  $R^2$ ,  $R^3$ ,  $R^4$  die genannten Bedeutungen besitzt.

10 4. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass L in den der allgemeinen Formel (XI) für Wasserstoff, das Wasserstoff-Ion, Halogene, Halogen-Ionen, Pseudohalogenide, Carboxylat-Ionen, Sulfonat-Ionen, Amidreste, Alkylgruppen, Alkylarylgruppen, Arylgruppen, Heteroarylgruppen, 15 Alkenylgruppen, Alkoholatreste, Nitrile, Isonitrile, Mono- oder Diolefine, Alkine,  $\pi$ -Aromatenreste, Cyclopentadienyl, Indenyl, Phosphine, Phosphite, Phosphinite, Phosphonite, Phosphoraromaten, Acetylacetonat, Kohlenmonoxid, Stickstoffmonoxid oder Carbenliganden steht,

wobei die Alkylgruppen 1 bis 24, die Alkenyl- und Heteroarylgruppen 2 bis 24 und die 20 Aryl- und Alkylarylgruppen 5 bis 24 Kohlenstoffatome beinhalten und jeweils substituiert oder unsubstituiert sein können.

5. Verfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

25 dass A in den der allgemeinen Formel (XI) für Halogenid, Pseudohalogenid, Tetraphenylborat, Tetrafluoroborat, Tetrachloroborat, Hexafluorophosphat, Hexafluoroantimonat, Tetracarbonylcobaltat, Hexafluoroferrat, Tetrachloroferrat, Tetrachloroaluminat, Triflat, Bistrifluorsulphonylamid, Heptachlorodialuminat, Tetrachloropalladat, Sulfat, Hydrogensulfat, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Hydrogenphosphat, 30 Dihydrogenphosphat, Hydroxid, Carbonat, Hydrogencarbonat, Salze von aromatischen oder aliphatischen Carbonsäuren, Salze von aromatischen oder aliphatischen Sulfonsäuren oder Phenolate steht.

6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass als Metall der Gruppen 6 bis 10 des Periodensystems Ru, Rh, Ni, Pd oder Pt eingesetzt wird.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Metallkomplexe (I) aus den Verbindungen II bis X und einem Metall der Gruppen 6 bis 10 des Periodensystems in situ als Katalysatoren oder Katalysatorprecursoren in Hydroformylierungen, Hydrierungen, Arylaminierungen, Hydrosilylierungen, Heck-Reaktionen, Suzuki-Kupplungen, Kumada-Kupplungen, Stille-Kupplungen, Miyaura-Kupplungen, Sonogashira-Kupplungen, Olefinmetathesen, Cyclopropanierungen, Reduktionen von Halogenarenen, Polymerisationen oder Telomerisationsreaktionen hergestellt werden.

15

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass eine oder mehrere der Verbindungen II bis X in einem Verhältnis von 1 bis 100 Mol zum Metall der 6. bis 10. Gruppe des Periodensystems eingesetzt werden.

20

9. Verwendung der Metallkomplexe (I) als Katalysatoren in Hydroformylierungen, Hydrierungen, Arylaminierungen, Hydrosilylierungen, Heck-Reaktionen, Suzuki-Kupplungen, Kumada-Kupplungen, Stille-Kupplungen, Miyaura-Kupplungen, Sonogashira-Kupplungen, Olefinmetathesen, Cyclopropanierungen, Reduktionen von Halogenarenen, Polymerisationen oder Telomerisationsreaktionen.

25

10. Verwendung der Verbindungen II und/oder III als Ligandprecursoren in Hydroformylierungen, Hydrierungen, Arylaminierungen, Hydrosilylierungen, Heck-Reaktionen, Suzuki-Kupplungen, Kumada-Kupplungen, Stille-Kupplungen, Miyaura-Kupplungen, Sonogashira-Kupplungen, Olefinmetathesen, Cyclopropanierungen, Reduktionen von Halogenarenen, Polymerisationen oder Telomerisationsreaktionen.

30

**Zusammenfassung:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Carbenliganden enthaltenden Metallkomplexen durch Umsetzung von Metallverbindungen mit Ligandprecursorn II und/oder  
5 III und den Einsatz der so erhaltenen Metallkomplexe als Katalysatoren.

